

# 中国経済の省間ネットワークに関する考察

岡山理科大学経営学部経営学科講師  
南川高範

## 要旨

本稿は、中国に31ある省、省級市、自治区（以下省）を対象として、経済のネットワークの構造を明らかにすることを目的としたものである。ここでいう経済のネットワークとは、財の取引や旅行者など人の移動が、対象2省の間にどれだけあるかを表すものである。このネットワークの構造を特定するために、現在世界中で感染が拡大し、経済活動を制約している COVID-19の感染者数の中国省別データを利用する。他省における感染者数の状態と、対象省における新規感染者数の関係をモデル化し、小標本高次元データのモデル推定の手段を用いて、省間の関係を特定化することが可能となる。推定された感染経路から導出された空間ウェイトは、物理的な距離や省界の共有といった近接性、感染者数という COVID-19固有の要因だけではなく、経済的な規模や拠点化などの全体としてのネットワークの系統を反映するものである。このことから、ここで示したネットワークの情報が、グラビティモデルで記述される財や人的移動のネットワークについての情報を包含すると考えられる。

キーワード：中国経済、ネットワーク、経済構造

JEL Classification Codes: C32, C33, L14

## 1. はじめに

2020年1月6日、中国の湖北省武漢市で原因不明の感染性肺炎が発生していることが、日本の厚生労働省から報道機関向けに発表された<sup>1</sup>。のちにその原因として新型コロナウイルス (SARS-CoV-2) が特定され、1月15日に日本で第1例目の感染者が確認された<sup>2</sup>。この感染症は、のちに COVID-19と称され、中国からタイ、日本、韓国と近隣各国で感染者が確認されたのち、東南アジア、欧州、北米へと急速に広がっていった。日本で感染が確認された1月15日時点で世界の感染者数が47人だったのに対して、2月1日に1万2000人以上、3月1日には約8万8000人へと感染者数は、指数関数的に拡大を続けた<sup>3</sup>。また、感染予防のために、各国で国境をまたぐ移動が禁止されており、日本に対しても114の国が日本からの渡航制限や渡

航後の行動制限を課し（2020年9月22日時点）、日本政府も全世界に対して不要不急の出国を避けるよう促す措置を採っている。

COVID-19は、感染の広がりにより多くの犠牲を出し、人の移動を物理的に制約しているだけでなく、感染リスクがもたらす心理的な作用により、経済活動の萎縮や、マスク不足などにみられるような、資源配分のゆがみももたらした。日本で COVID-19が急速に広がった4月から6月にかけての期間、実質国内総生産 (GDP) 成長率は、前期比7.8%という大きな下落を示した<sup>4</sup>。一方で中国は、3月以降新規感染者が大きく増える状況は見られず、経済活動の急速な落ち込みも2020年1月から3月期で抑えられている。中国の2020年1月から3月期の実質 GDP 成長率は、-6.8% であるのに対して<sup>5</sup>、2020年4月から6月期の同数値は、3.2% の増加を示している。2020年1月

23日に湖北省武漢で都市封鎖が採られたが、これが4月8日に解除され<sup>6</sup>、その後は経済活動が回復に向かっていることを示している。

このように COVID-19は自国経済の萎縮をもたらすため、世界各国が関心を寄せている。この感染症は、現時点では、人間同士の間でウイルスが移動することにより拡大しているとされているが、感染者数の多い都市では感染が広がりやすく、その都市からの人口の移動が多い都市でもまた、感染者は増加すると考えられる。

本稿は、中国に31ある省、省級市、自治区（以下省）を対象に、感染者数のデータを用いて感染経路を明らかにするとともに、その特徴から、経済の省間ネットワークの構造について考察するものである。省間の感染経路について、図1に示すような感染拡大の仕組みを考える。仮に全部で A、B、C、E 省の4つの省しかない想定す

<sup>1</sup> 厚生労働省報道機関向け発表「中華人民共和国湖北省武漢市における原因不明肺炎の発生について」を参照。 [https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_08767.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08767.html) (2020年9月22日確認)。

<sup>2</sup> 厚生労働省報道機関向け発表「新型コロナウイルスに関連した肺炎の患者の発生について(1例目)」を参照。 [https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_08906.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08906.html) (2020年9月22日確認)。

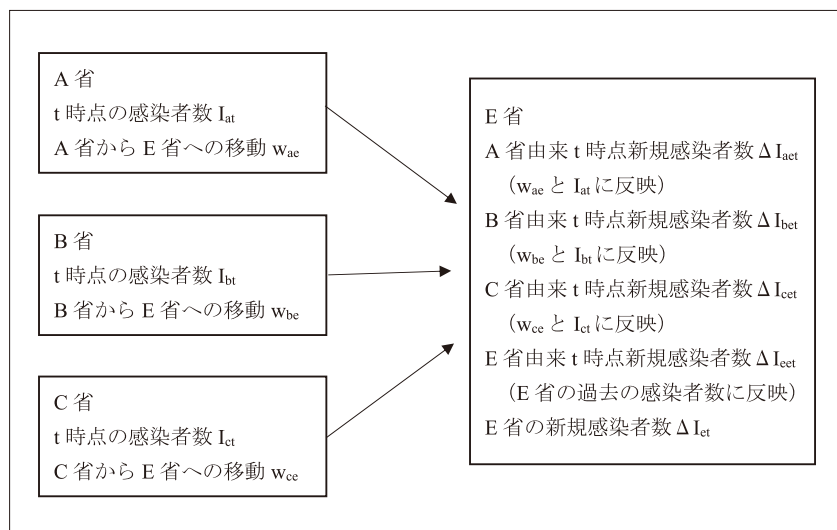
<sup>3</sup> 日本経済新聞「新型コロナウイルス世界マップ」のデータを参照。 <https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-world-map/> (2020年9月22日確認)。

<sup>4</sup> 日本経済新聞「GDP 実質27.8% 減、4～6月年率 戦後最大の下げ」を参照。 <https://www.nikkei.com/article/DGXZM062699240X10C20A8MM0000/> (2020年9月22日確認)。

<sup>5</sup> 中国国家統計局季度数据 (2020年9月22日確認) を参照。 <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=B01>。

<sup>6</sup> BBC News「中国・武漢市、都市封鎖を解除 2カ月半ぶり市民ら移動」 <https://www.bbc.com/japanese/52210389> (2020年9月22日確認)。

図1 感染症拡大におく仮定の概念図



出所: 筆者作成

ると、他の省からの感染者の移動に起因するE省の新規感染者は、移動時点で他の省にどれだけの感染者がいるかと、他省からE省への人的移動の大きさに左右される。A省からの移動に起因するE省の新規感染者数(ΔI<sub>aet</sub>)は、移動時点でA省にどれだけの感染者がいるか、A省からE省への人的移動はどれだけあるかにより決定される。このA省に賦存する感染者数は、その時点の累積感染者数I<sub>aet</sub>に反映されると考えられ、A省からE省への人的移動がどれだけあるかは、省間の経済的な結びつきの強さに反映されると考えられる。

つまり、累積の感染者数は多くないが、E省への移動が活発な省は、その省に起因する新規感染者が多く、移動が活発でなくても累積の感染者数が多い地域からの移動があれば、その省に起因する新規感染者が多いという仮定を置いている。この仮定に従い、A省、B省、C省それぞれの感染者数と、E省の新規感染者数の値から、wの値を推定する。31の省を対象にする場合、省間の経済的な結びつきを表すパラメータwは961(31×31)となり、最小二乗法や最尤法のような方法で推定を行うには、比較的大きなサンプルサイズがなければ、推定の過程で計算が必要となる逆行列が退化する場合があ

る。また、ここで想定している省間経済の結びつきを表すパラメータwは多くの省の組合せでは0になることが予想されるため、ここでは後述する小標本高次元データのモデルを推定する方法として知られているLeast Absolute Shrinkage Selection Operator(LASSO)が、パラメータ推定に用いられる。

次節では、使用するデータの特徴と検証方法、推定方法について紹介し、第3節で検証結果を、第4節で結論を述べる。

## 2. データと検証方法

図1の概念図で示される仮定をモデルで示したものが、以下の式である。

$$\Delta I_{it} = \sum_{j=1}^{31} w_{ij} I_{j,t-p} + error_i \quad (1)$$

i省の新規感染者数は、i省自身の過去の感染者数と他の省に起因する要因により決定されるという式である。ここで、モデルで説明変数にp次のラグを置いている理由は、t時点でi省に移動した感染者が、i省で新たな感染を引き起こす場合、その感染が確認されるのは、一定のラグを置いた後であることが考えられるためである。一般的には、SARS-CoV2の

潜伏期間(感染から発症までの期間)は、12.5日であると言われているが<sup>7</sup>、感染から発症、検査から確認、発表までの流れを考えると、それ以上の長さのラグをもって、感染者数に反映されるものと考えられる。この式の各要素を行列表示にすると、

$$I_t = \begin{bmatrix} I_{北京,t} \\ I_{天津,t} \\ \vdots \\ I_{西藏,t} \end{bmatrix}, W = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,31} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,31} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{31,1} & w_{31,2} & \dots & w_{31,31} \end{bmatrix} \quad (2)$$

モデルは、

$$\Delta I_t = WI_{t-p} + error \quad (3)$$

となり、Wが経済的な結びつきを表すパラメータを要素としてもつ行列となり、各省の相互作用の情報を与える行列となる。ここでは、この行列を後述の方法で対称行列へと変換し、空間ウェイト行列としたものが、考察の対象となる。これにより観測可能なΔI<sub>t</sub>とI<sub>(t-p)</sub>から、Wを推定するという形式のモデルとなる。

推定に用いるデータは、日本経済新聞がウェブ上で公開しているデータであり<sup>8</sup>、中国の31の各省の感染者数を日足データとして公開している。当該ウェブサイトでは、2020年1月22日から2020年4月3日までの感染者数を確認することができる。ただし、2020年1月23日から4月8日まで湖北省武漢において都市封鎖が行われているため、武漢を出入りするような人の移動は遮断されている状態である。武漢の都市封鎖では、市内外を結ぶ交通手段の遮断や、自家用車使用の禁止、住民の外出禁止の内容を含む厳格な移動の制限が課せられているため、当該データが対象とする期間は、武漢の移動がない状態である。

日本経済新聞がまとめる感染者数のデータは、湖北省のデータが、武漢のデータとそれ以外の都市のデータに分かれていないため、感染者数は武漢のものも含むが、移動者には武漢のものが含まれていないという乖離を生じさせる。そこで、中国国

<sup>7</sup> 厚生労働省広報「新型コロナウイルスを防ぐには」を参照。https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000596861.pdf。

<sup>8</sup> 日本経済新聞「新型コロナウイルス感染中国マップ」のデータを使用。https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-china-map/。

家衛生健康管理委員会がウェブサイト上で公開している武漢の感染者数<sup>9</sup>、湖北省の武漢以外の感染者数のデータを用いて、湖北省については、武漢を除いた感染者数を検証の対象として用いた。国家衛生健康管理委員会のサイトでは、2月13日以降、湖北省の武漢とそれ以外を分けて発表しているため、検証の対象も2月13日から3月31日までの期間とする。1月22日時点で確認されていた中国全体の感染者数は440人だったのに対して、3月31日には、81518人に増加しており、そのうち武漢だけで50007人を占めていた。本研究の対象は、この武漢以外の約3万人であり、武漢の都市封鎖から2週間以上がたった2月13日以降のデータを使用する。

パラメータ  $W$  を推定するためには、変数選択と尤度関数の最大化を並行して行う推定手法である LASSO 回帰が用いられる。LASSO は以下に示される損失関数  $L_i$  を最小化することで、パラメータ  $\beta_i$  を推定する方法である。

$$L_i = \|\text{error}_i\|_2^2 - \lambda \|\beta_i\|_1 \quad (4)$$

ここで、 $\|\cdot\|_p$  は  $L^p$  ノルムである。第1項目の最小化で残差二乗和の最小化を、第2項目は、絶対値の加重平均値であり、この最小化により、第1項で説明力の低い変数の係数パラメータを0と推定する作用をもたらす。また、 $\lambda$  は変数選択の重要性を表すパラメータであり、 $\lambda$  の決定は、交差検証法により行われる。交差検証法とは、任意のデータを取り除いて推定したモデルについてその取り除いた値の理論値と実測値誤差と  $\lambda$  の値を検証することで、誤差の小さい  $\lambda$  を特定するという考え方である<sup>10</sup>。上式の LASSO 推定では、変数選択の一致性に問題があることが指摘されており（例えば Otto and Steinert (2018) に詳述）、その点を考慮した Adaptive LASSO 推定を行った。

$$L_i^a = \|\text{error}_i\|_2^2 - \lambda \|w_i \cdot \beta_i\|_1 \quad (5)$$

Adaptive LASSO が最小化する損失関数  $L_i^a$  では、 $\beta_i$  の一致推定量から計算されるウェイトである  $w_i$  が加えられる。Otto and Steinert (2018) において、二段階の Adaptive LASSO の方法が示されており、第一段階で、ウェイトの計算、第二段階で、尤度の最大化を行う。この一連の計算による  $\beta$  の推定を R パッケージの *glmnet* を用いて実行した。

Adaptive LASSO により推定したウェイト行列は、対称行列とはなっていないため、以下の計算により、空間ウェイト行列として用いることができるように、対称行列に変換している。

$$\widehat{W}_s = \frac{1}{2} \widehat{W} \cdot \widehat{W}' \quad (6)$$

ここで、 $\widehat{W}$  は Adaptive LASSO により推定した非対称行列であり、 $\widehat{W}$  と  $\widehat{W}'$  の転置行列である  $\widehat{W}'$  の内積をとり、値を2で割った対称行列を検証の対象とする。

### 3. 検証結果

係数パラメータの推定を行う際に、ラグ次数  $p$  を決定する必要がある。感染から発症までの1から12.5日に、発症から検査、確認発表まででさらに数日を要することを考慮して、 $p=1$  から  $p=20$  までのラグ次数を仮定して、それぞれ推定を行った（表1）。ラグ次数が12以下のものでは、係数パラメータの数930（31×30）のうち、非ゼロの要素は少なく、ラグ次数が13日以降

で増加している。このことから、他地域の感染者数の状態が対象地域の新規感染者数に及ぼす効果は、12日以内のラグでは十分に反映されていないということが考えられる。厚生労働省広報「新型コロナウイルスを防ぐには」では、感染から発症までの期間は5日から6日が最も多いとされているが、上述の通り、発症から発表までもラグを伴うことが考えられ、特に、対象期間である2月から3月にかけての時期では、感染者の確認から発表までの遅れが大きかったことが予想される。ここでは、最も非ゼロ要素が多い14日をラグ次数として選択する。

ウェイト行列で、各省に相当する行がいくつ非ゼロ要素をもっているかを表したものが表2である。非ゼロ要素の中央値は2であり、非ゼロ要素が4以上ある省は10であるため、非ゼロ要素が4以上ある省を結節点として重要な省であるとみなす。これらの省の特徴を見ると、北京、天津、上海、福建、山東、広東、重慶は、2019年の一人当たり付加価値生産額で見て、上位10に入る省である。一方で、一人当たり所得が比較的高い浙江省は、非ゼロ要素がゼロであり、所得だけが非ゼロ要素の数を決定するわけではないと考えられる。浙江省の非ゼロ要素がゼロである理由として、人口当たりの感染者数が多いことが考えられる。また、河北省は、一人当たり所得は高くないものの、人口が上位10位に入る省であり、人口の多さがウェイトの非ゼロ要素数を説明する要因であると考えられる。

表1 ラグ次数と非ゼロ要素の数

ラグ次数 (p)	非ゼロ要素の数	割合	ラグ次数 (p)	非ゼロ要素の数	割合
1	20	2.1%	11	8	0.8%
2	30	3.1%	12	8	0.8%
3	22	2.3%	13	74	7.7%
4	22	2.3%	14	84	8.7%
5	10	1.0%	15	82	8.5%
6	12	1.2%	16	78	8.1%
7	12	1.2%	17	68	7.1%
8	6	0.6%	18	62	6.5%
9	10	1.0%	19	62	6.5%
10	12	1.2%	20	60	6.2%

出所：推定結果より筆者作成

<sup>9</sup> 中国国家衛生健康管理委員会「発生通知」を参照。http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/list\_gzbd\_10.shtml。

<sup>10</sup> 詳細は安道（2014）を参照。

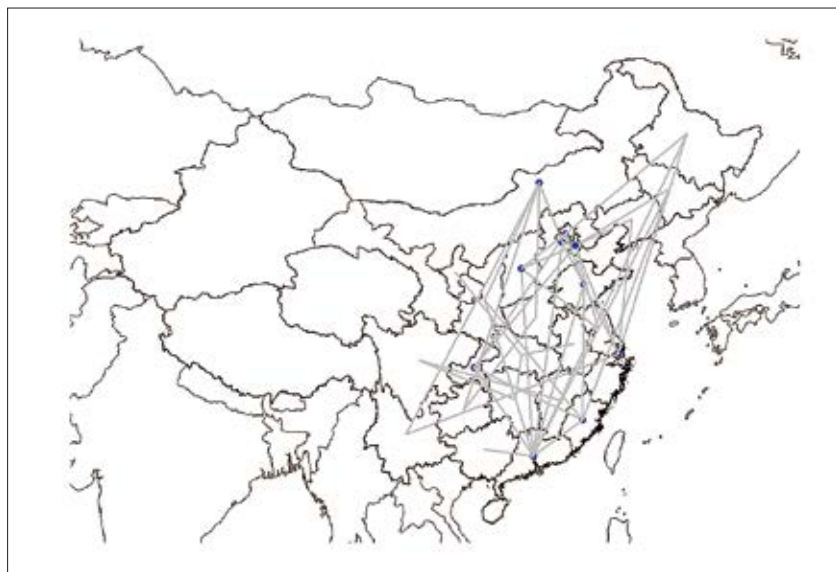


表2 各省ウェイトの非ゼロ要素数と所得、人口、感染状況

	非ゼロ要素の数 (個数)	一人当たり所得 (順位)	人口 (順位)	感染者数 (順位)	人口当たり感染者数 (順位)
北京	4	1	26	10	3
天津	7	7	27	20	15
河北	4	26	6	16	22
山西	4	27	18	25	26
内蒙古	5	11	23	26	23
遼寧	2	15	14	23	29
吉林	3	28	21	27	27
黒龍江	3	30	17	14	12
上海	6	2	25	13	5
江蘇	3	3	5	9	18
浙江	0	5	10	4	4
安徽	1	13	8	6	9
福建	5	4	15	15	17
江西	1	21	13	7	6
山東	4	10	2	8	19
河南	2	16	3	3	11
湖北	3	8	9	1	1
湖南	2	14	7	5	10
広東	10	6	1	2	13
広西	1	29	11	17	21
海南	0	17	28	21	8
重慶	4	9	20	11	7
四川	2	18	4	12	20
貴州	2	25	19	22	24
雲南	2	24	12	19	25
陝西	3	23	31	18	2
甘粛	0	12	16	24	28
青海	0	31	22	30	30
寧夏	1	22	30	29	14
新疆	0	19	29	28	16
西藏	0	20	24	31	31

出所: 中国国家统计局ウェブサイト、日本経済新聞「新型コロナウイルス感染中国マップ」、推定結果より筆者作成

図2 経済の省間ネットワーク



出所: 筆者作成

注: ドットで示した省は4つ以上の省と結ばれている結節点。

ウェイト行列の情報を地図上に落とし、視覚的に示したものが図2である<sup>11</sup>。4つ以上の省と結ばれている結節点をドットで示し、非ゼロ要素で関係が示されている省間を線で示している。結節点の中でも5つ以上の省と線で結ばれている省は、天津、内モンゴ、上海、福建、広東の5つである。それぞれの省がネットワークを形成する省は、表3に示した通りである。天津が、省界を接する河北と山西、遼寧と吉林、上海と江蘇両方とネットワークを形成するように、省界を接する省同士が直接ネットワークを形成するのではなく、結節点を介して、ネットワークで結ばれるという特徴が地図からは見られる。特に東北地方の、黒龍江、吉林、遼寧の三つの省は、それぞれ直接線で結ばれる関係はないものの、天津を介して、遼寧と吉林が、上海を介して、遼寧と黒龍江が、広東を介して吉林と黒龍江がそれぞれネットワークとして結ばれている。

ここで示したネットワークの情報は、あくまでも COVID-19 の感染経路を基に算出した、人の移動の多寡を表すものである。平時における移動の状態とは、感染リスクを避けるための行動や、湖北省については、武漢を除いた人の動きを基にして算出している点で、経済のネットワークとの間に乖離がある可能性がある。一方で感染リスクを考慮しても、移動しなければならないほどの強い経済的な結びつきや、商業上の慣習に基づく人の移動を反映したものであるという点で、ここでの結果は平時に示されるよりも、頑健な2省間の結びつきの情報を与えるものであると考えられる。グラビティモデルで特定される地域間の財の取引や、人の移動は、必ずしも物理的な距離にのみ左右されるものではなく、その地域それぞれの経済規模の大きさや、人口規模の大きさにも左右される。感染経路を基に、推定した係数パラメータの値からも、距離の近いところで、結びつきが強いというわけではなく、むしろ経済的な結節点となることを介してのネットワークを形成しているという状態が示された。

<sup>11</sup> 地図のデータは、GADM と Natural Earth のウェブサイト参照。https://gadm.org/download\_country\_v3.html、https://www.naturalearthdata.com/downloads/。

表3 非ゼロ要素5以上の結節点のネットワーク形成省

結節点	ネットワーク形成省
天津	河北、山西、遼寧、吉林、上海、江蘇、重慶
内 蒙 古	河北、河南、貴州、雲南、陝西
上 海	天津、河北、遼寧、黒龍江、山東、雲南
福 建	吉林、山東、広東、重慶、陝西
広 東	河北、山西、吉林、黒龍江、江蘇、福建、山東、広西、重慶、陝西

出所：推定したウェイトから筆者作成

#### 4. 結 論

本稿は、現在世界中で感染が確認され、経済活動を大きく制約している感染症であるCOVID-19の感染者数のデータを基に、感染経路の推定と、そこから引き出せると考えられる経済の省間ネットワークの特徴を考察したものである。COVID-19の感染から発症、発表までの一連の流れから、感染元と感染先の伝播モデルを仮定し、小標本高次元データを対象としたモデルの推定方法を適用し、省間ネットワークを表すウェイト行列を推定した。ここで推定されるネットワークは、グラビティモデルで記述される財の取引や、旅行者の移動の結びつきを表すネットワークと同様に、距離以外に経済規模や人口などに左右されるものであることが考えられる。

推定されたネットワークからは、必ずし

も感染者数が多い、あるいは、人口当たりの感染者数が多い地域が結節点であるわけではなく、人口が多いほど結節点となっているわけではないことが示された。このことから、このウェイトが個別の省の感染の情報だけを反映したものではなく、省間の結びつきを反映していると考えられる。また、財や旅行者の移動での想定と同様に、結節点の特徴として一人当たりの所得が高い省で結節点となる傾向があることが示された。

また、ネットワークを形成する省が必ずしも近距離、近接省間ではなく、物理的な距離が離れた地域間でもネットワークとして結ばれている関係が多いことが示された。東北三省は、それぞれの省は直接経済的な結びつきが認められないことが示されたが、天津や上海、広東を介して、ネットワークが形成されていることが示された。このような

関係は、天津を介して、河北省と山西省、河北省と遼寧省がネットワークを形成、内モンゴルを介して貴州省と雲南省がネットワークを形成するというように、多くの組合せで見られる。このことから、中国の人や財の取引において、物理的な距離や省界の共有のような近接性以上に、結節点となるような拠点が重要な役割を果たしていると考えられる。前述の通り、ここで示したネットワークは、COVID-19の感染が拡大する以前のネットワークと乖離がある可能性があるが、全体的な人や物の移動が制約される中で、動かざるを得ないほどの慣習的な結びつきや、心理的な距離の近さが反映されたものであると考えられる。

空間統計学や空間計量経済学モデルの手法である空間自己相関係数や、空間自己回帰モデルの推定に、空間ウェイト行列が用いられるが、一般的には、空間ウェイトは所与として先験的に与えられることが多く、その際には物理的な距離や近接性など自明なものが用いられる。しかし、ここで示したように、中国の省間経済の結びつきは、物理的な距離や近接性のみを考慮するのではなく、歴史的な経緯や心理的な距離を考慮することが、実際の財や旅行者の移動を扱う上でも望ましいと考えられる。

#### <参考文献>

Otto, Phillip and Rick Steinert. (2018) "Estimation of the Spatial Weighting Matrix for Spatiotemporal Data under the Presence of Structural Breaks", unpublished paper. (URL) <https://arxiv.org/abs/1810.06940>

安道知寛(2014)「高次元データ分析の方法-Rによる統計的モデリングとモデル統合」『朝倉出版』

#### データ出典

中国国家统计局季度数据(実質GDP成長率) <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=B01>

中国国家统计局分省年度数据(各省人口、付加価値生産額データ) <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=E0103>

GADM(中国シェープファイル) [https://gadm.org/download\\_country\\_v3.html](https://gadm.org/download_country_v3.html)

Natural Earth(世界地図シェープファイル) <https://www.naturalearthdata.com/downloads/>

#### 報道資料

厚生労働省「中華人民共和国湖北省武漢市における原因不明肺炎の発生について」(報道機関向け発表) [https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_08767.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08767.html)

厚生労働省「新型コロナウイルスに関連した肺炎の患者の発生について(1例目)」(報道機関向け発表) [https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage\\_08906.html](https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_08906.html)

厚生労働省広報「新型コロナウイルスを防ぐには」 <https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/000596861.pdf>

日本経済新聞「新型コロナウイルス世界マップ」 <https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-world-map/>

日本経済新聞「新型コロナウイルス感染中国マップ」 <https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-china-map/>

日本経済新聞「GDP実質27.8%減、4~6月年率 戦後最大の下げ」 <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO62699240X10C20A8MM0000/>

日本経済新聞「新型コロナウイルス感染中国マップ」 <https://vdata.nikkei.com/newsgraphics/coronavirus-china-map/>

BBC News「中国・武漢市、都市封鎖を解除 2カ月半ぶり市民ら移動」 <https://www.bbc.com/japanese/52210389>

中国国家衛生健康管理委員会「発生通知」 [http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/list\\_gzbd\\_10.shtml](http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/list_gzbd_10.shtml)